

Robots nadadores tipo flagelo bacteriano

Blas M. Vinagre

25 de abril de 2018



Índice

1 Introducción

2 Flagelo plano

- Formas de onda
- Propulsión

3 Alternativas bajo estudio

- Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido
- Actuación distribuida II: Deformación continua
- Actuación local I: 1 punto de actuación
- Actuación local I: 2 puntos de actuación

4 Lo que queda por hacer



Robots pequeños

Swallowing the surgeon

It would be interesting in surgery if you could swallow the surgeon. You put the mechanical surgeon inside the blood vessel and it goes into the heart and "looks" around... other small machines might be permanently incorporated in the body to assist some inadequately- functioning organ.

RICHARD P. FEYMAN 1959(nobel prize, physics 1965)

Robots pequeños nadadores



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas VS. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



¿Cómo de pequeños?

1 Micro-robots.

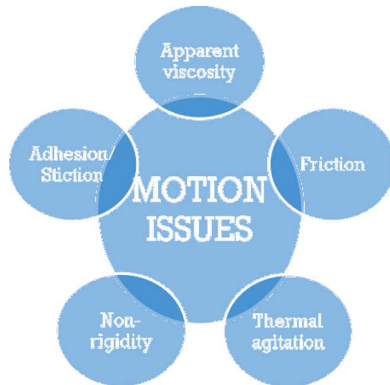
- Escala micrométrica.
- Fuerzas viscosas vs. fuerzas inerciales.

2 Nano-robots.

- Escala nanométrica (molecular).
- Entorno "browniano".
- Fuerzas interatómicas e intermoleculares.
- Efectos cuánticos.



Su mundo



El sistema circulatorio llega a cualquier sitio ...

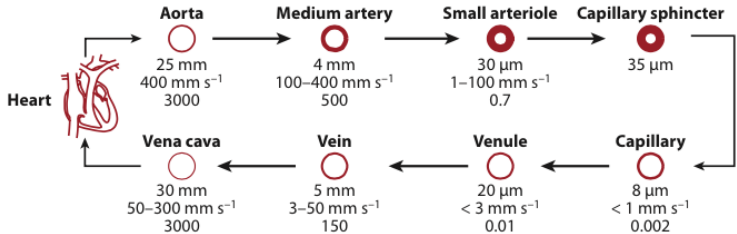


Figura: Sistema circulatorio y *Re*.

Retos

- Entendimiento del entorno.
- Cambio de paradigma.
- Fabricación.
- Propulsión.
- Guiado.



Ecuación de Langevin

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\zeta \frac{dx}{dt} + \frac{dB(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$m\ddot{x} = -V'(x) - \zeta\dot{x} + \dot{B}, \quad (2)$$



Ecuación de Langevin

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\zeta \frac{dx}{dt} + \frac{dB(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$m\ddot{x} = -V'(x) - \zeta\dot{x} + \dot{B}, \quad (2)$$



Ecuación de Langevin

Inercia negligible

$$\zeta \dot{x} = -V'(x) + \dot{B}, \quad (3)$$



Motor molecular– Motor browniano

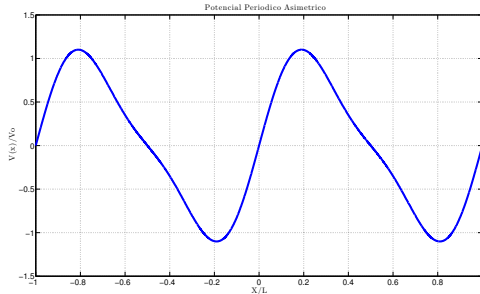


Figura: Potencial periódico asimétrico.

Motor molecular– Motor browniano

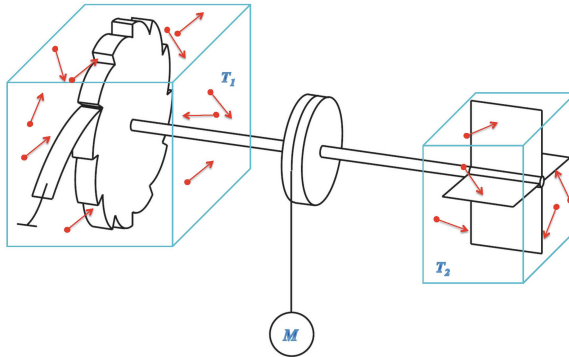


Figura: Trinquete de Feynman.

Navier–Stokes

$$Re \frac{d\vec{V}}{dt} = -\nabla p + \nabla^2 \vec{V}, \quad Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (4)$$



Re bajo

A bajo Re :

- Estamos en un mundo que es o muy viscoso, o muy lento, o muy pequeño.
- Dominado por bajas velocidades y pequeñas escalas.
- El tiempo no importa, solo la configuración.

$$\nabla p = \nabla^2 \vec{V} \quad (5)$$



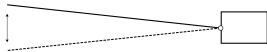
Re bajo

A bajo *Re*:

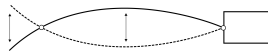
- Estamos en un mundo que es o muy viscoso, o muy lento, o muy pequeño.
- Dominado por bajas velocidades y pequeñas escalas.
- El tiempo no importa, solo la configuración.

$$\nabla p = \nabla^2 \vec{V} \quad (5)$$

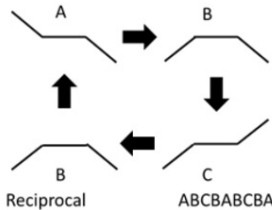




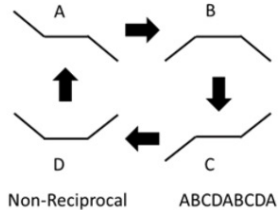
(a) Remo rígido



(b) Remo flexible.



(a) Movimiento recíproco



(b) Movimiento no recíproco

Figura: Movimiento recíproco – no recíproco.

Locomoción en altos *Re*



Locomoción en bajos *Re*



Biomimesis

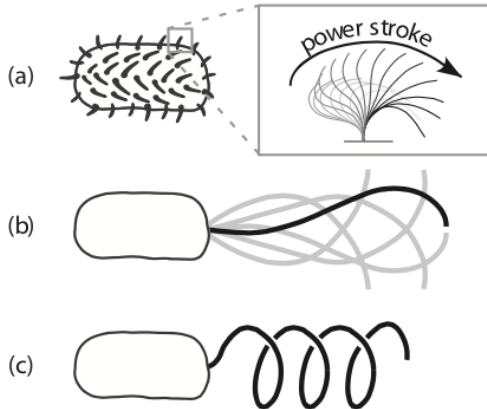
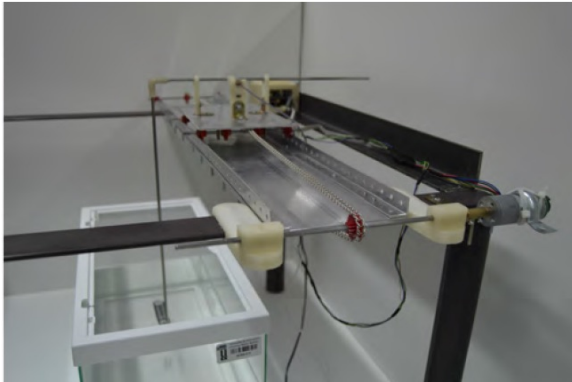


Figura: Flagelos y cilios.

Helicoidal autopropulsado



Helicoidal autopropulsado



Helicoidal propulsión externa



Helicoidal propulsión externa



Formas de onda

Onda progresiva armónica

$$y(x, t) = c_0 \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - V_p t) \right) \quad (6)$$



Formas de onda

Onda progresiva carangiforme

$$y(x, t) = (c_1 x + c_2 x^2) \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - V_p t) \right) \quad (7)$$



Propulsión

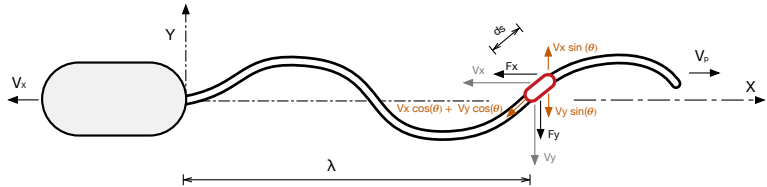


Figura: Propulsión onda plana.

Propulsión

Fuerzas

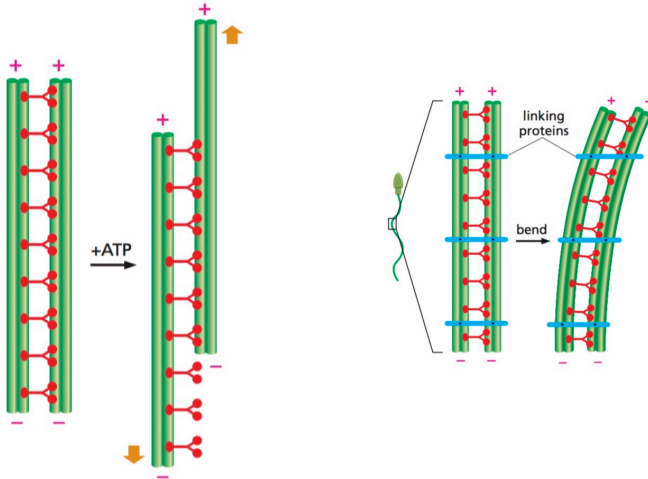
$$\frac{dF}{ds} = \frac{(C_N - C_L)\dot{y}y' - V_x (C_L + C_N(y')^2)}{1 + (y')^2}, \quad (8)$$

Velocidad

$$nF = V_x 6\pi R\mu \quad (9)$$



Mecanismo de propulsión



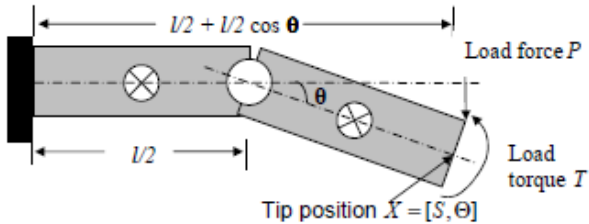
Introducción
Flagelo plano
Alternativas bajo estudio
Lo que queda por hacer

Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido
Actuación distribuida II: Deformación continua
Actuación local I: 1 punto de actuación
Actuación local I: 2 puntos de actuación

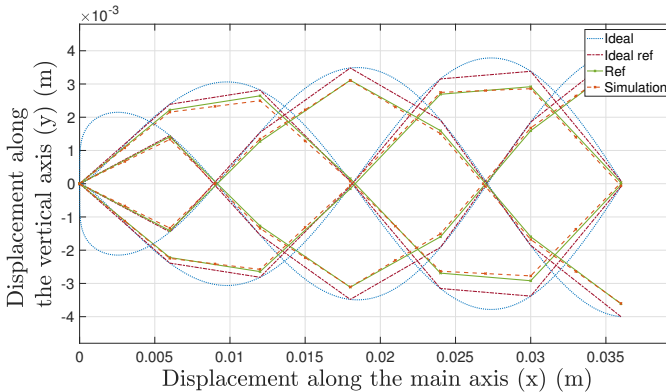
Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido



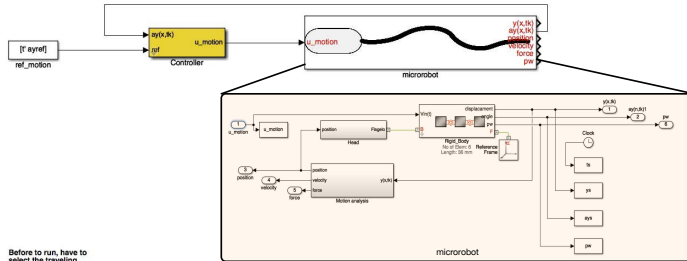
Elemento básico



Descomposición del movimiento



Simulador – Analizador

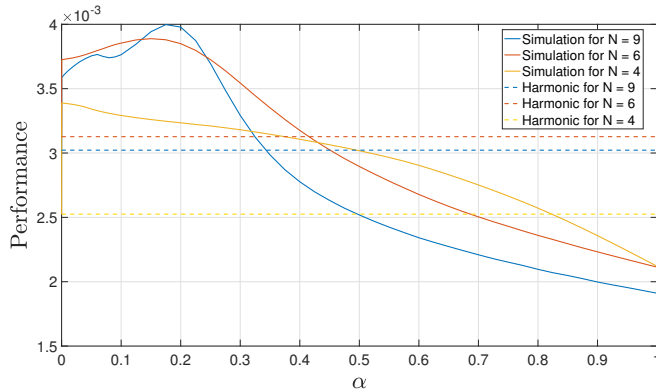


Before to run, have to select the traveling wave that will simulate

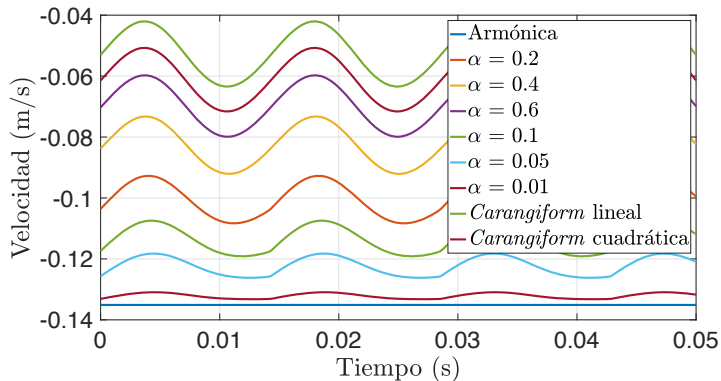
Select a traveling wave	Select a integration method	Result
Armonic wave	Small amplitude method	Force & Power
Linear Carangiform wave	Big amplitude method	Velocity & Position
Quadratic Carangiform wave		Motion Controlled
Fractional traveling wave		



Resultados I



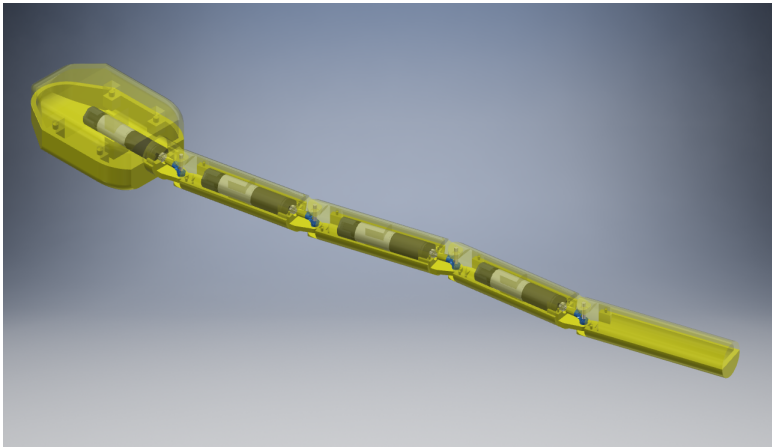
Resultados II



Introducción
Flagelo plano
Alternativas bajo estudio
Lo que queda por hacer

Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido
Actuación distribuida II: Deformación continua
Actuación local I: 1 punto de actuación
Actuación local I: 2 puntos de actuación

Construcción



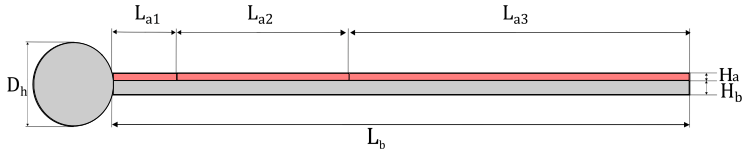
Introducción
Flagelo plano
Alternativas bajo estudio
Lo que queda por hacer

Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido
Actuación distribuida II: Deformación continua
Actuación local I: 1 punto de actuación
Actuación local I: 2 puntos de actuación

Actuación distribuida II: Deformación continua



Dimensiones



Flagelo

$[L_b; D_h; H_b]$

$[3mm; 0,25mm; 6,6\mu m]$

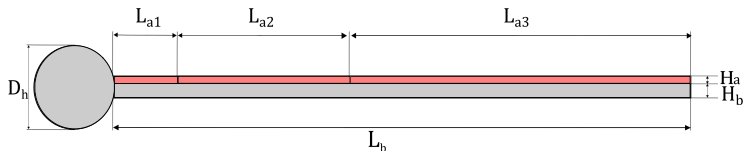
Actuadores

$[H_a; L_{a1}; L_{a2}; L_{a3}]$

$[1\mu m; 0,33mm; 0,87mm; 1,8mm]$



Dimensiones



Flagelo

$[L_b; D_h; H_b]$

$[3mm; 0,25mm; 6,6\mu m]$

Actuadores

$[H_a; L_{a1}; L_{a2}; L_{a3}]$

$[1\mu m; 0,33mm; 0,87mm; 1,8mm]$

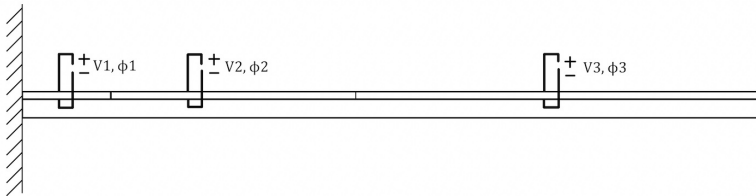
Parámetros onda progresiva

Tabla: Parámetros onda progresiva para simulación.

Parameter	Value	Description
c_0	0	Amplitude coefficient of harmonic wave (m)
c_1	$8,9 \cdot 10^{-3}$	Linear amplitude coefficient of fish wave (m)
c_2	-0,4938	Quadratic amplitude coefficient of Carangiform wave (m)
f	30	Frequency of the wave (Hz)
λ	$4,5 \cdot 10^{-3}$	Wavelength (m)

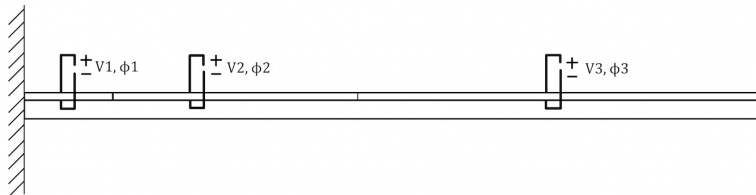


Excitación



Actuador	Voltaje (V)	Desfase (rad)
Piezo 1	$4,27 \cdot 10^{-3}$	$\frac{4\pi}{5}$
Piezo2	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$\frac{3\pi}{10}$
Piezo 3	$3 \cdot 10^{-2}$	π

Excitación



Actuador	Voltaje (V)	Desfase (rad)
Piezo 1	$4,27 \cdot 10^{-3}$	$\frac{4\pi}{5}$
Piezo2	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$\frac{3\pi}{10}$
Piezo 3	$3 \cdot 10^{-2}$	π

Movimiento



Movimiento

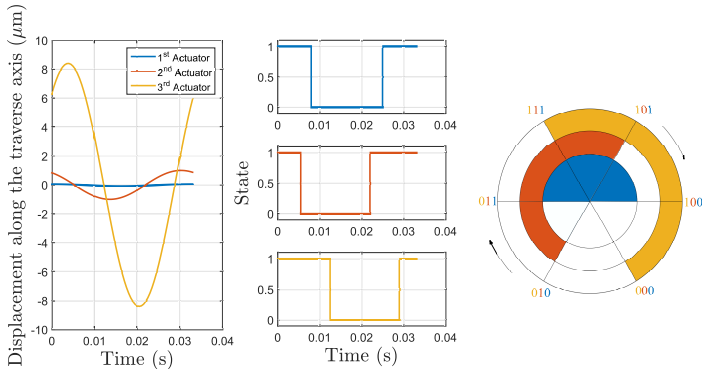


Figura: Movimiento no recíproco.

Movimiento

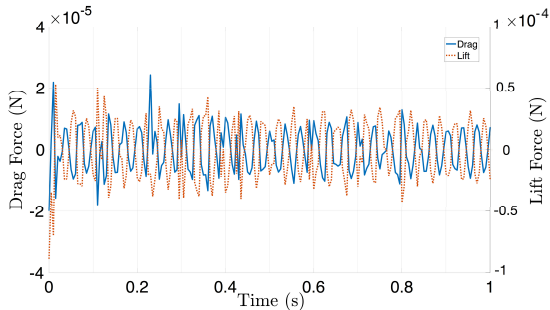


Figura: Drag and Lift: real motion.

Movement of ABF

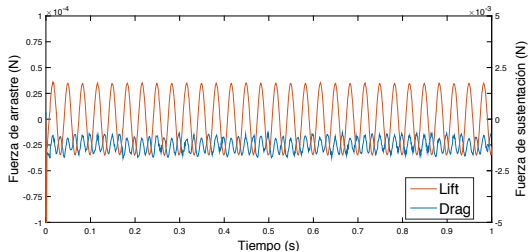


Figura: Drag and Lift: ideal motion.

Movimiento



Movimiento



Introducción
Flagelo plano
Alternativas bajo estudio
Lo que queda por hacer

Actuación distribuida I: Segmentos sólido rígido
Actuación distribuida II: Deformación continua
Actuación local I: 1 punto de actuación
Actuación local I: 2 puntos de actuación

Robot

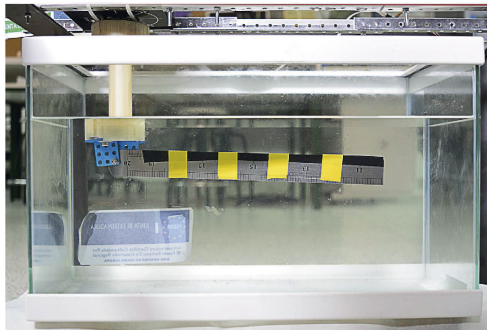


Figura: Dispositivo experimental.

Modelado entorno

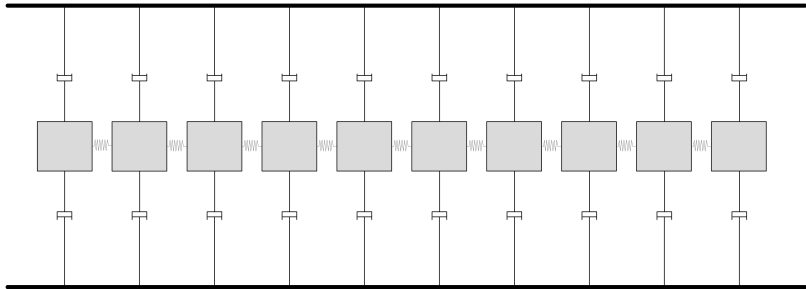


Figura: Esquema del modelo para simulación en fluidos.

Resultados experimentales

Excitación onda cuadrada 3 Hz



Resultados experimentales

Excitación onda senoidal 3 Hz

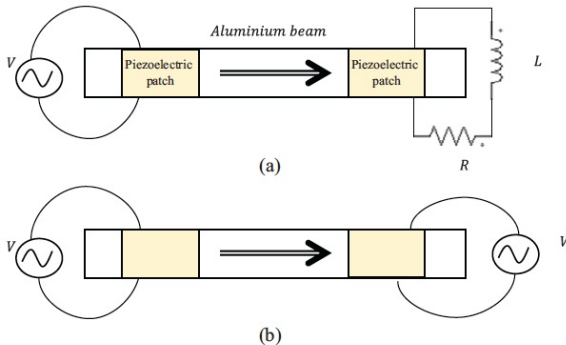


Resultados experimentales

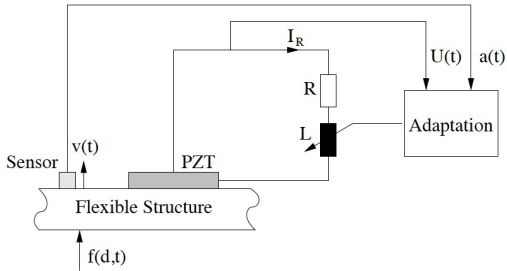
Excitación onda senoidal 10 Hz



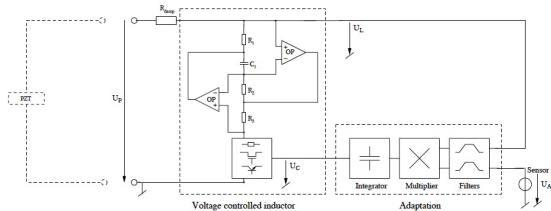
Actuación local I: 2 puntos de actuación



Actuación local I: 2 puntos de actuación



Actuación local I: 2 puntos de actuación



Algunas conclusiones

- Experimentos y ajustes
- Simulador sistema cardiovascular
- Selección de tecnología
- Estrategias de control y navegación
- Miniaturización – MEMS (Delft University of Technology)
- Diseño de microrrobot



Agradecimientos

Proyecto: Control of Flexible Robots Under External Forces. Application to Force Sensors and Systems for Robot Positioning and Propulsion in Fluids. (DPI2016-80547-R, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad)



Agradecimientos

Ayuda: GR15178 (Junta de Extremadura)

JUNTA DE EXTREMADURA



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

UNED – E.T.S. de Ingeniería Informática
Departamento de Informática y Automática

